

⑤

Int. Cl. 2:

F 03 D 7/00

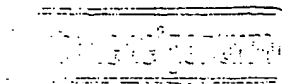
F 03 D 9/00

⑯ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

DEUTSCHES



PATENTAMT



DT 26 23 233 B 1

⑪

Auslegeschrift 26 23 233

⑫

Aktenzeichen: P 26 23 233.7-15

⑬

Anmeldetag: 24. 5. 76

⑭

Offenlegungstag: —

⑮

Bekanntmachungstag: 11. 8. 77

⑳

Unionspriorität:

⑳ ㉑ ㉒

—

㉔

Bezeichnung:

Anordnung zur Anpassung eines Windrades an einem elektrischen Generator

㉖

Anmelder:

Messerschmitt-Bölkow-Blohm GmbH, 8000 München

㉗

Erfinder:

Beusse, Hans, 2000 Hamburg

㉙

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
Nichts ermittelt

DT 26 23 233 B 1

Patentansprüche:

1. Anordnung zur Anpassung einer Windkraftmaschine an einen, ein Verbrauchernetz speisenden elektrischen Generator, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenleistung der Windkraftmaschine (1) einem einen Elektromotor (9) antreibenden ersten Generator (3) zugeführt und der Motor (9) mit einem zweiten, ein Verbrauchernetz speisenden Generator gekuppelt ist und mit Hilfe eines von einem Windmesser beaufschlagten Rechners (17) ein Ausgangssignal des Rechners gebildet ist, das die Erregerleistung des Motors (9) bei ausreichendem Windangebot derart steuert, daß die Drehzahl des Generators (7) praktisch konstant ist und ein Drehzahlregler (19) die überschüssige Energie mittels eines regelbaren Gleichrichters (11) einem Nebenschlußkreis des Motors (9) zuführt, wenn das Windangebot die am Ausgang des Generators (7) entnommene Leistung übersteigt.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß auf der Welle des Generators (9) am Ausgang der Anordnung eine Kraftmaschine (16) angeordnet und mittels der Regeleinrichtung derart auf konstante Drehzahl regelbar ist, daß die Kraftmaschine den Fehlbetrag der Leistung übernimmt, wenn das Windangebot die am Generatorausgang entnommene Leistung unterschreitet.

3. Anordnung nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Belastung des Windrades (1) mittels der Steuereinrichtung derart steuerbar ist, daß die Belastung erst dann erfolgt, wenn das Windrad nach abgeschlossener Beschleunigung im Leerlauf einen stabilen Arbeitspunkt erreicht hat.

4. Anordnung nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehzahlwandler durch einen Elektro-Maschinensatz, hauptsächlich bestehend aus einem Generator und einem Motor, verwirklicht ist.

5. Anordnung nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Drehzahlwandler (3, 9) durch einen hydraulischen Maschinensatz, hauptsächlich bestehend aus einer Pumpe und einem Hydraulikmotor, verwirklicht ist.

6. Anordnung nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung den Einstellwinkel der Windradblätter mittels des Windmessers (18), des Rechners (17) und einer Blattverstellung auf optimalen Leistungsbeiwert einstellt, wenn die Windradauslegung keinen festen optimalen Einstellwinkel aufweist.

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Anpassung eines Windrades an einen elektrischen Generator.

Es sind verschiedene Lösungen bekannt, um mit Hilfe eines Windrades und eines elektrischen Generators elektrische Energie zu gewinnen.

So ist es bekannt, ein bestehendes elektrisches Drehstrom-Versorgungsnetz mit Erzeugern und Verbrauchern dadurch abzustützen, daß windgetriebene Drehstromgeneratoren hinzugeschaltet werden. Hierbei ist es wichtig, daß die Generatoren netzsynchron betrieben werden. Bei starrer Kupplung von Generator

und Windrad bedeutet dies, daß das Windrad mit konstanter Drehzahl umläuft. Diese Anordnung hat den Nachteil, daß infolge der konstanten Windrad-Drehzahl im allgemeinen kein maximaler Leistungsbeiwert erreicht wird. Die Synchronisierung erfolgt durch eine Synchronisierereinrichtung, wobei der Phasenwinkel ein Maß für die abgegebene Leistung des Generators ist.

Bei einer anderen bekannten Anordnung dieser Art wird eine Pufferbatterie verwendet, um die windbedingten Versorgungslücken auszugleichen, wobei ein sinnvolles Zusammenwirken von Generator und Batterie z. B. durch einen Spannungsregler bekannter Art sichergestellt wird. Bei dieser Anordnung ist ein Umformer erforderlich, da die Anordnung nicht Gleichstrom, sondern Wechsel- bzw. Drehstrom liefern soll. Diese Anordnung hat den Nachteil, daß die Erstellungskosten wegen der Batterie im allgemeinen nicht vertretbar sind.

Bei einer weiteren bekannten Anordnung, bei der ein Windrad einen elektrischen Generator antreibt, ist eine Kraftmaschine, z. B. Dieselmotor, vorgesehen, die auf den Generator wirken kann, wenn das Windangebot ausbleibt oder die ausnutzbare Leistung allein des Windrades die am Generatorausgang entnommene Leistung unterschreitet. Gegenüber einer Anordnung mit Pufferbatterie ergeben sich hier folgende vorteilhafte Merkmale:

1. geringer Platzbedarf,
2. hohe Lebensdauer der Kraftmaschine,
3. niedrige Erstellungskosten,
4. Kraftstoff wird nur dann verbraucht, wenn das Windangebot nicht ausreicht.

Demgegenüber weist die vorbeschriebene Anordnung folgende nachteilige Merkmale auf:

1. Da am Ausgang der Anordnung Wechsel- bzw. Drehstrom verlangt wird, muß der Generator mit konstanter Drehzahl laufen. Hieraus folgt bei direkter Kupplung, daß das Windrad im allgemeinen nicht mit maximalem Leistungsbeiwert betrieben wird.
2. Um trotz ungünstiger Leistungsbeiwerte eine ausreichende Leistungsausbeute der Windenergie zu erzielen, ist auch hier eine gewisse Überdimensionierung des Windrades erforderlich, was sich nachteilig auf die Abmessungen und die Erstellungskosten des Windrades auswirkt.

Demgemäß besteht die Erfindungsaufgabe darin, eine Anordnung zur Anpassung eines Windrades an einen elektrischen Generator zu schaffen, bei der das Windrad immer mit maximalem Leistungsbeiwert betrieben wird, eine andere Energiequelle, z. B. eine Kraftmaschine, den Fehlbetrag der Leistung liefern kann, wenn die Windenergie nicht ausreicht, und der am Ausgang der Anlage befindliche Generator derart auf konstanter Drehzahl und konstanter Spannung gehalten wird, daß das Zusammenwirken der beteiligten Maschinen stufenlos erfolgt.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß die Wellenleistung der Windkraftmaschine einem einen Elektromotor antreibenden ersten Generator zugeführt und der Motor mit einem zweiten, ein Verbrauchernetz speisenden Generator gekuppelt ist und mit Hilfe eines von einem Windmesser beaufschlagten Erregerleistung des Motors bei ausreichendem Windangebot derart steuert, daß die Drehzahl des Generators praktisch konstant ist und ein Drehzahlregler die überschüssige Energie mittels eines regelbaren Gleichrichters einem Nebenschlußkreis des Motors zuführt,

wenn das Windangebot die am Ausgang entnommene Leistung übersteigt.

Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist auf der Welle des Generators am Ausgang der Anordnung eine Kraftmaschine angeordnet, und mittels der Regeleinrichtung derart auf konstante Drehzahl regelbar, daß die Kraftmaschine den Fehlbetrag der Leistung übernimmt, wenn das Windangebot die am Generatorausgang entnommene Leistung unterscheidet.

Mit Hilfe der Erfindung wird die Möglichkeit eröffnet, Windkraftwerke mit maximalem Leistungsbeiwert und konstanter Ausgangsdrehzahl zu fahren, wobei das Windrad mit anderen Kraftmaschinen derart stufenlos zusammenwirken kann, daß der Windenergie der Vorrang gegeben wird. Der hierfür erforderliche Aufwand für Regel- und Steuereinrichtungen erscheint für Windkraftwerke größerer bis größter Leistungsklassen gerechtfertigt.

Die Erfindung ist anhand der folgenden Anmeldungsbeschreibung näher erläutert. Es zeigt

A b b. 1 eine Beispielsausführung eines Drehzahlwandlers,

A b b. 2 eine Windradkennlinie,

A b b. 3 ein Windkraftwerk, kombiniert mit einer Brennkraftmaschine.

In Abb. 1 ist eine Beispielsausführung einer erfindungsgemäßen Anordnung dargestellt, hauptsächlich bestehend aus dem Windrad oder der Windturbine 1, dem Getriebe 2, dem Generator 3, dem Motor 9, dem Ausgangsgenerator 7, dem Schwungrad 21, sowie den Stellgliedern 11 und 13. Der Generator 3 bildet mit dem Motor 9 einen Maschinensatz bekannter Art zur Drehzahlwandlung (Ward-Leonard-Satz). Abweichend vom üblichen Betrieb dieses Wandlers wird der magnetische Fluß Φ_G der Feldwicklung des Generators 3 konstant gehalten, wohingegen der magnetische Fluß Φ_M der Feldwicklung des Motors 9 gesteuert wird. Der gewöhnlich verwendete Gleichstromgenerator ist hier durch einen Wechselstromgenerator 3 ersetzt. Für praktische Anwendungen ist ein Drehstromgenerator zweckmäßiger. Der Gleichrichter 6 ist auch bei Verwendung eines Gleichstromgenerators erforderlich, um Wirkungsumkehrungen bei stationären Betriebszuständen auszuschließen. Bei gegebenem Leistungsbeiwert c_L ist das Generatormoment M_I proportional dem Quadrat der Windgeschwindigkeit v . Unter der Voraussetzung eines konstanten Erregerstromes durch die Feldwicklung 5 des Generators 3 mit $\Phi_G = \text{konst.}$, ist damit der Generatorstrom I_G eine Funktion von v . Dies wird durch folgende Beziehung ausgedrückt:

$$M_I = k_W \cdot v^2 = k_M \cdot I_G. \quad (a)$$

Für eine gegebene (optimale) Schnellaufzahl gilt außerdem:

$$n_I = k_n \cdot v. \quad (b)$$

Hierin bedeutet

k_W einen Proportionalitätskoeffizienten des Windrades mit Getriebe bezüglich der Windgeschwindigkeit v ,
 k_M einen Proportionalitätskoeffizienten des Generators 3 bezüglich des Moments M_I und

k_n einen Proportionalitätskoeffizienten des Windrades mit Getriebe bezüglich der Generatordrehzahl n_I ,

wobei der Leistungsbeiwert c_L des Windrades in den Koeffizienten k_W und k_n enthalten ist. Durch die

Windradkennlinie (vergl. A b b. 2) liegt für das gewählte $c_{L, \max}$ außer dem Generatorstrom I_G entsprechend Gl. (a) auch die einzustellende Generatordrehzahl n_I entsprechend Gl. (b) fest. Der Einfachheit halber bezieht sich A b b. 2 auf ein Windrad mit direktem Antrieb des Generators 3, d. h. ohne Getriebe 2. Die dargestellte Kurve zeigt die Abhängigkeit des abgegebenen Moments M von der Drehzahl n für eine Windgeschwindigkeit v als Parameter, wobei der Arbeitspunkt P durch den maximalen Leistungsbeiwert $c_{L, \max}$ festgelegt wird. Der magnetische Fluß Φ_M des Motorfeldes ist nun so einzustellen, daß die Motordrehzahl n_{II} konstant bleibt. Aus A b b. 1 ergibt sich zunächst das Spannungsgleichgewicht

$$c \cdot \Phi_G \cdot n_I - I_G \cdot r = c \cdot \Phi_M \cdot n_{II} + I_M \cdot r, \quad (c)$$

wobei $c = c_G = c_M$ und $r = r_G = r_M$ hier der Einfachheit halber gleichgesetzt werden. In Abb. 1 ist der Ankerwiderstand r_G des Generators 3 durch den Widerstand 4 und der Ankerwiderstand des Motors 9 durch den Widerstand 8 dargestellt. Der magnetische Fluß Φ_M in der Motor-Feldwicklung 10 wird über den steuerbaren Gleichrichter 13 zweckmäßig nach folgender Voraussetzung eingestellt:

$$I_G = I_M = I \quad (d)$$

und weiterhin

$$\Phi_G = \text{konst.} \quad (e)$$

und

$$n_{II} = \text{konst.} \quad (f)$$

Damit ergibt sich für Gleichung (c) folgende vereinfachte Schreibweise:

$$A \cdot n_I - I \cdot r = B \cdot \Phi_M + I \cdot r. \quad (g)$$

Daraus folgt

$$\Phi_M = \frac{1}{B} (A n_I - 2 I r). \quad (h)$$

Der Feldschwächung von Φ_M mit sinkender Drehzahl n_I entspricht ein gegenüber dem Generatormoment M_G entsprechend verringertes Motormoment M_M . Diese Antiproportionalität der Momente und Drehzahlen ermöglicht die Konstanthaltung von n_{II} :

$$M_G \cdot n_I \approx M_M \cdot n_{II} \quad (j)$$

Wenn die Belastung nun mit

$$I_M < I_G = I \quad (k)$$

angenommen wird, so stellt sich sowohl für n_I wie für n_{II} ein höherer Wert ein als mit Gleichung (h) erreicht werden soll. Durch den Nebenschlußwiderstand 12 zum Motorkreis wird ein weiterer Laststrom I_L über den steuerbaren Gleichrichter 11 eingestellt, welcher die Forderung

$$I_L = I_G - I_M \quad (l)$$

erfüllen muß. Hierfür ist ein Regelkreis mit der Drehzahlfrequenz n_{II} vorgesehen. Beim Anfahren des

Windrades, z. B. durch schnelles Steigen von v von Windstille auf einen Wert v_1 wird der Motor 9 bei steigenden Drehzahlen n_1 und n_{11} vom Windrad hochgeschleppt. Das Windrad durchläuft dabei seinen stationären Arbeitspunkt $n_1 = f(v_1)$ vergl. Punkt P in A b b. 2. Die Belastung der Motorwelle und damit des Generators erfolgt erst, nachdem n_{11} innerhalb eines bestimmten Toleranzbereiches eingefahren ist. Steigt die Windgeschwindigkeit dann weiter auf v_2 , so verhindert die zu diesem stationären Arbeitspunkt eingestellte vergrößerte elektromotorische Kraft des Motors

$$EMK_M = C_M \cdot \phi_M \cdot n_{11} \quad (m)$$

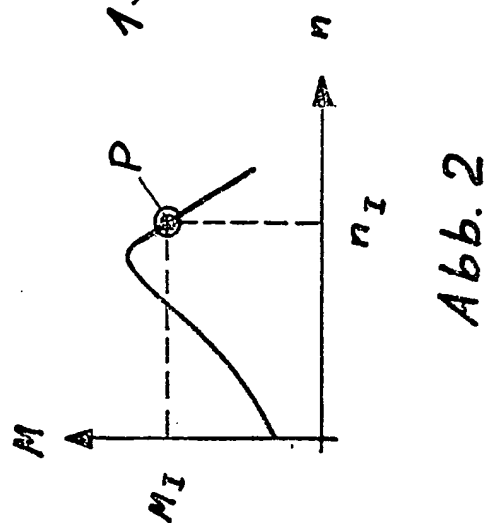
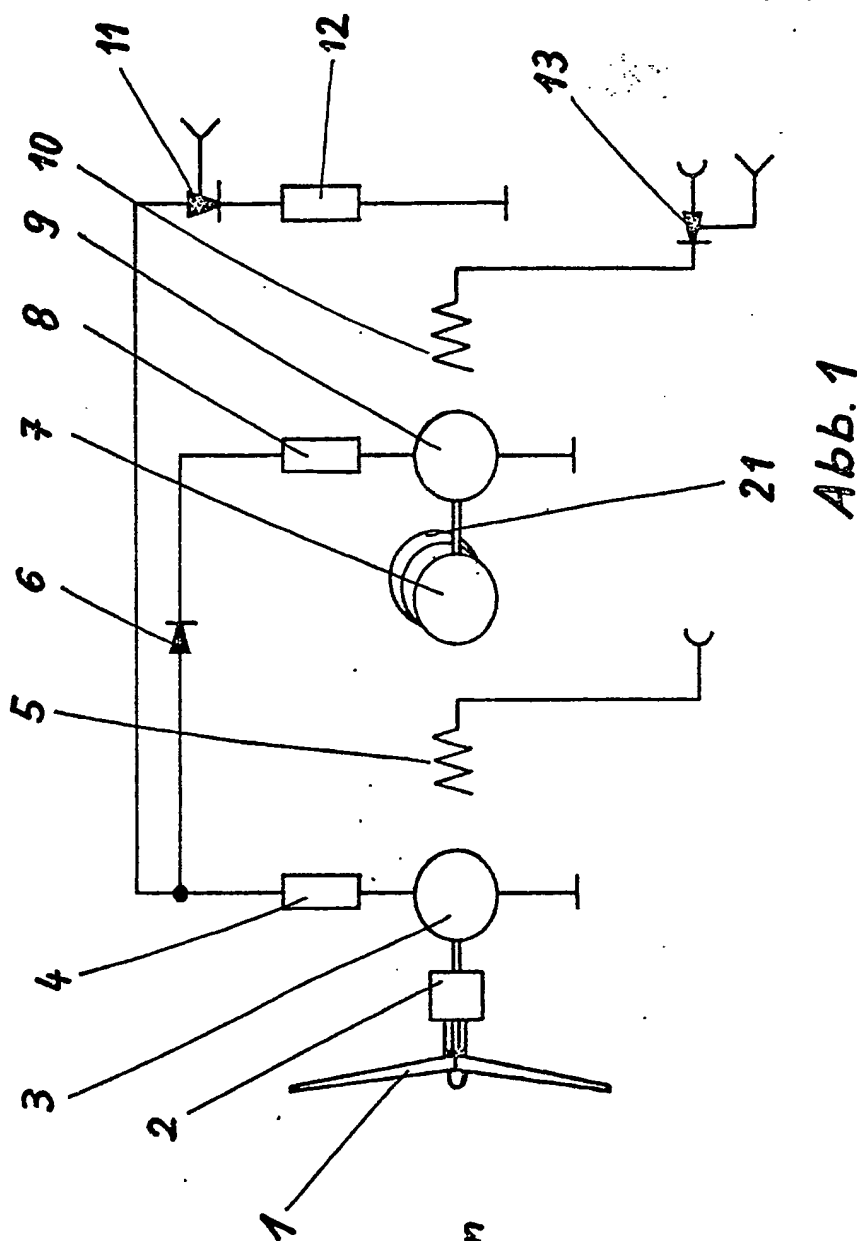
durch den Gleichrichter 6 eine Wirkungsumkehrung von Generator und Motor. Der Strom I verschwindet bei der Beschleunigung n_1 ; dieser Vorgang erfolgt praktisch im Leerlauf des Windrades. Ein mit der Motorwelle starr gekuppeltes Schwungrad 21 vermeidet unzulässige Drehzahlablenkungen von n_{11} nach Erreichen des Sollwertes n_{11} innerhalb einer zulässigen Toleranz. Eine dynamische Abstimmung zur Stabilisierung der Anordnung erfolgt durch entsprechend ausgelegte hier nicht dargestellte Netzwerke für die Feldeinstellung Φ_M in Verbindung mit einem hier nicht dargestellten Regler für n_{11} . Insbesondere bei kurzzeitigem periodischem Verlauf der Windgeschwindigkeit v (Böen) wird automatisch ein Mittelwert \bar{v} für die Arbeitspunkteinstellung P des Windrades gebildet und zur Einstellung von Φ_M verwendet. Der Regler hat am Ausgang die Stellgröße y_L und würde bei sinkender Lastforderung I_M den zugehörigen steuerbaren Gleichrichter 11 entsprechend öffnen. Der überschüssige, im allgemeinen stark schwankende Laststrom I_L kann z. B. zur Heizung, zur Elektrolyse oder zum Betrieb von Pumpen verwendet werden.

Eine Weiterbildung der erfindungsgemäßen Anordnung zeigt A b b. 3. Diese Anordnung enthält außer den in A b b. 1 dargestellten Elementen einen Dieselmotor 16. Außerdem sind hier der Rechner 17, der Windmesser 18, der Drehzahlregler 19 und der Spannungsregler 20 dargestellt. Übersteigt die vom Generator 7 zu liefernde

Leistung die infolge Windkraft lieferbare Leistung, so wird der Fehlbetrag der Leistung durch den ebenfalls auf die Welle des Generators 7 wirkenden Dieselmotor 16 geliefert. Durch den Regler 19 wird über den steuerbaren Gleichrichter 11 und das Stellglied 22 die Drehzahl n_{11} des Generators konstant gehalten. In Verbindung mit der c_L -optimalen Feldsteuerung des Motors 9 wird somit sichergestellt, daß die Windenergie Vorrang erhält. Der Rechner 17 erhält von dem Windmesser 18 ein der Windgeschwindigkeit v entsprechendes Signal und bildet eine dem Fluß Φ_M des Motorfeldes lt. Gleichung (h) entsprechende Stellgröße v_b welche einem steuerbaren Gleichrichter 13 zugeführt wird. Weiterhin bildet der Rechner 17 die Drehzahl $n_{1(w)}$ als Sollwert entsprechend der Beziehung (b) und führt den Wert $n_{1(w)}$ als Hilfsgröße dem Regler 19 zu, der diesen Wert mit dem von einem Drehzahlmesser 23 gelieferten Istwert $n_{1(x)}$ vergleicht. Solange $n_{1(x)} < n_{1(w)}$ festgestellt wird, bleibt der steuerbare Gleichrichter 11 geschlossen. Diese Maßnahme dient dem schnellen Erreichen stabiler Arbeitspunkte, z. B. bei der Drehzahl n_1 des Windrades entsprechend Fig. 2. Der Regler 19 liefert die Stellgrößen y_L und y_K zur Konstanthaltung der Drehzahl n_{11} . Die Stellgröße y_K beeinflusst die Leistungseinstellung des Motors 16 derart, daß dieser eine höhere Leistung abgibt, wenn der am Ausgang des Generators 7 geforderte Leistungsbetrag größer ist als der vom Windrad 1 entsprechend den Windverhältnissen lieferbare Betrag. Die Konstanthaltung der Drehzahl wird durch ein Schwungrad 21 erleichtert.

Eine andere hier nicht dargestellte Abwandlung der Anordnung besteht darin, daß der Dieselmotor 16 z. B. durch eine mittels Sonnenenergie getriebene Dampfturbine ersetzt wird.

Eine weitere denkbare Abwandlung der Anordnung besteht darin, daß der elektrische Drehzahlwandler durch einen hydraulischen Drehzahlwandler ersetzt wird, wobei anstelle des Generators 3 eine Hydraulikpumpe und anstelle des Motors 9 ein Hydraulikmotor tritt. In diesem Falle entsprechen den Gleichrichtern 6 und 11 hydraulische Steuerventile und anstelle des Lastwiderstandes 12 tritt z. B. eine hydraulisch betriebene Pumpe eines Speicherwerkes.



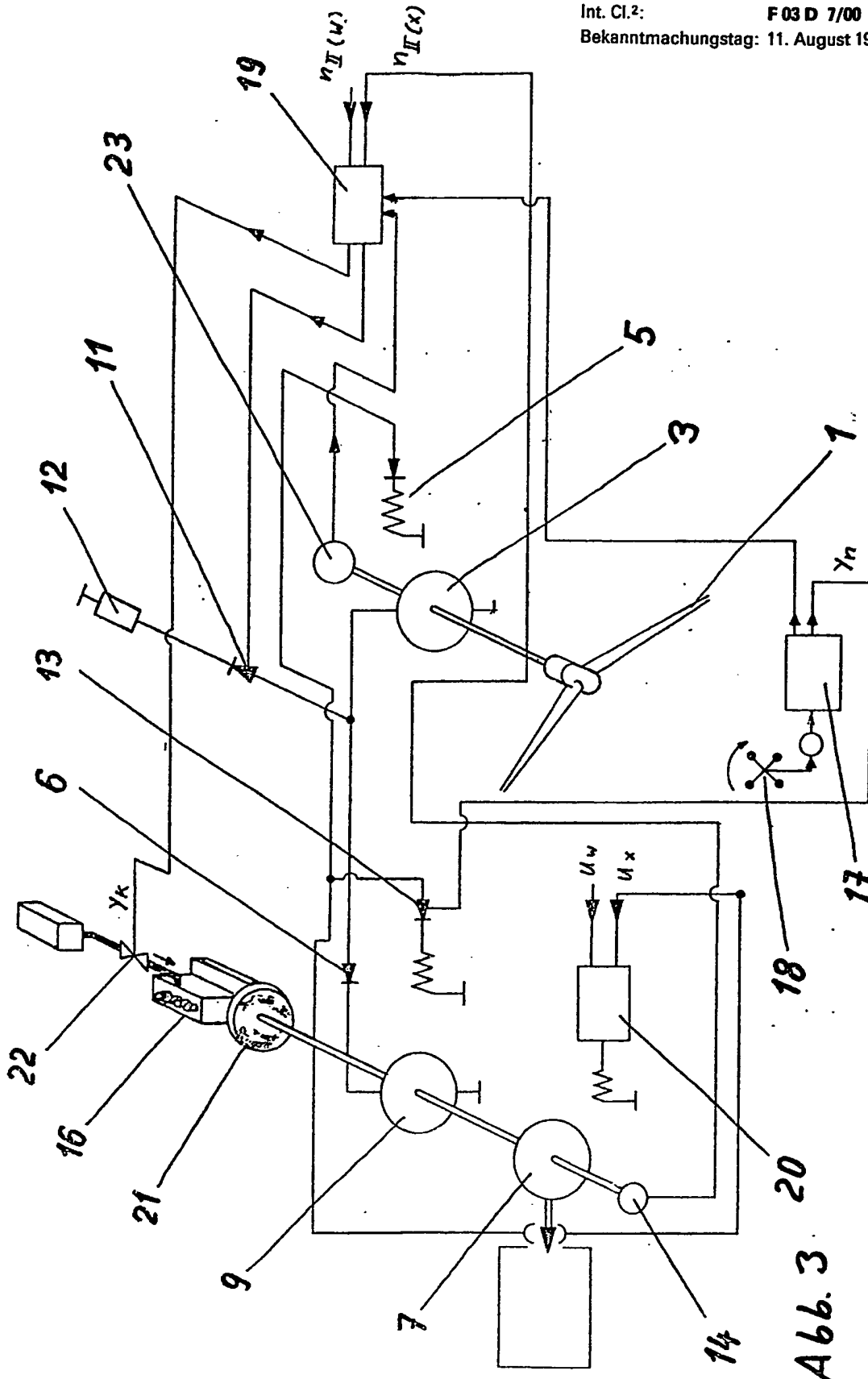


Abb. 3